



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VĚTRACÍ JEDNOTKA S REKUPERACÍ TEPLA

HEAT RECOVERY VENTILATION UNIT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN BALÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ HEJČÍK

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství
Energetický ústav
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Balák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Větrací jednotka s rekuperací tepla

v anglickém jazyce:

Heat recovery ventilation unit

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Problémem mnoha zateplených domů je snížení infiltrace a tím provětrávání bytu, což vede ke vzniku plísní a nezdravého prostředí v bytech. Řešením je zvýšené větrání v bytech, které je však provázeno značnými tepelnými ztrátami a tím zvýšenými náklady na vytápění. Řešením tohoto problému jsou větrací systémy s rekuperací tepelné energie, které jsou schopny zajistit dostatečné větrání s minimálními dodatečnými náklady na vytápění.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je stanovit základní požadavky na větrání bytů, provést rešerši konstrukčních řešení rekuperačních jednotek pro větrání bytů a stanovit základní parametry jednotlivých komponent větrací jednotky pro byt zvolené velikosti.

Seznam odborné literatury:

www.tzb-info.cz

www.rekuperace.cz

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 18.11.2011

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce má seznámit čtenáře s možnostmi větrání obytných budov, hygienickými nároky na ventilaci. Dále pak s typy tepelných rekuperátorů využívanými pro tepelnou rekuperaci v obytných budovách. Závěrem práce je výběr zcela konkrétní budovy, výpočet nároků na větrání a návrh konkrétních výrobních celků vhodných pro daný objekt, které zajistí optimalizaci větrání a tepelných ztrát.

Klíčová slova

ventilace, výměník tepla, rekuperace tepla, tepelný rekuperátor

Abstract

This bachelor thesis will inform readers about residential buildings ventilation possibilities, hygienical standards of ventilation, sorting of heat recovery units used for heat recovery in residential buildings. Moreover, specific house will be chosen and its ventilation demands will be calculated. Then convenient ventilation and heat recovery equipment will be searched, because of optimization of ventilation and heat losses.

Keywords

ventilation, heat recovery unit, heat recovery

Bibliografická citace

BALÁK, J. *Větrací jednotka s rekuperací tepla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D..

Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně, dne 25.května 2012

.....
Jan Balák

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Hejčíkovi za cenné rady, připomínky a přínosné konzultace v průběhu přípravy celé bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	8
1.0 Normy definující požadavky na vnitřní prostředí budov.....	9
1.1 Požadavky na větrání v jednotlivých prostorách.....	9
1.2 Normy definující teplotu a vlhkost v obytných budovách.....	10
1.3 Koncentrace oxidu uhličitého.....	12
1.4 Měření teploty, vlhkosti vzduchu a koncentrace CO ₂	13
2.0 Jednotlivé systémy používané pro větrání.....	13
2.1 Přirozené větrání.....	13
2.2 Větrání aerací.....	13
2.3 Šachtové větrání.....	14
2.4 Šachtové větrání s větracími hlavicemi.....	14
2.5 Šachtové větrání s rotačními hlavicemi.....	15
2.6 Decentrální nucené větrání.....	15
2.7 Centrální větrání.....	16
2.8 Inteligentní systém centrálního větrání MiX.....	17
3.0 Tepelné rekuperátory.....	17
3.1 Princip rekuperace.....	17
3.2 Využití rekuperace v rodinném domě.....	18
3.3 Dělení dle umístění.....	18
3.3.1 Lokální jednotka.....	18
3.3.2 Centrální jednotka.....	19
3.4 Dělení tepelných výměníků podle konstrukce.....	20
3.4.1 Přímé deskové výměníky vzduch-vzduch.....	20
3.4.2 Nepřímé výměníky kapalina-vzduch.....	20
3.4.3 Tepelné trubice.....	21
3.4.4 Kontaktní výměníky.....	21
3.4.5 Křížový výměník tepla.....	22
3.5 Dělení podle způsobu předávání tepelné energie.....	23
3.6 Další systémy zajišťující rekuperaci tepla.....	23
3.6.1 Regenerační výměníky.....	23
3.6.1.1 Rotační regenerační výměníky.....	23
3.6.1.2 Přepínací regenerační výměníky.....	24
3.6.1.3 Systémy s kapalinovým okruhem.....	24
4.0 Výběr nejvhodnějšího typu rekuperační jednotky a volba jejich parametrů.....	25
4.1 Požadavky na domovní rekuperační jednotku.....	26
4.2 Současný stav objektu pro rekuperační jednotku.....	26
4.2.1 Složení stavebních materiálů.....	26
4.2.2 Těsnost objektu.....	26
4.2.3 Současná úroveň ventilace.....	26
4.2.4 Zjištěné negativní vlastnosti větracího potrubí.....	27
4.2.4.1 Možná opatření proti těmto negativním vlastnostem.....	27
5.0 Návrh větrací jednotky.....	29
5.1 Maximální rychlost vzduchu.....	29
5.2 Návrhová rychlost proudění.....	29
5.3 Výpočet tlakových ztrát.....	29
5.4 Kompromitace návrhových průtoků s normami.....	30
5.5 Potřebná kapacita rekuperační jednotky.....	30

5.6 Zvolená rekuperační jednotka.....	30
5.7 Ventilátory.....	31
5.7.1 Regulace ventilátorů.....	31
5.7.2 Spotřeba elektrické energie.....	31
5.7.3 Orientační schéma.....	32
5.7.3.1 Popis funkce.....	32
Závěr.....	33
Seznam použitých zdrojů.....	34
Přílohy-Katalogový list teplovzdušného výměníku WTR-H378.....	37

Úvod

Úspory energií jsou v poslední době stále častěji diskutované téma. Rozvoj každé společnosti je vázán na snadnou dostupnost energetických zdrojů, které ale nejsou nevyčerpatelné. Každá energetická komodita nebo forma energie je v dnešní době obchodním artiklem a obchodníci se na ní snaží vydělat. Energetické nároky společnosti neustále rostou, a tudíž i cena energií roste.

Nejběžnějšími formami energie, se kterými jsme ve styku jsou energie tepelná a elektrická, energie záření a kinetická energie. Platby za tyto čtyři hlavní druhy energií, zprostředkované skrze energetické komodity a elektrický proud, tvoří velkou část měsíčních výdajů každé domácnosti.

Možností jak ušetřit je celá řada. Nejprimitivnější metodou úspor je odpojení spotřebitele od zdroje, což se běžně praktikuje ve třetím světě nebo během válečného stavu. Za současné situace, by to mělo na ekonomiku fatální dopad, proto je třeba hledat sofistikovanější řešení.

Další možností je zvýšení účinnosti domácích a dílenských spotřebičů, což se díky technickému a technologickému pokroku děje neustále, avšak i toto má své limity dané termodynamickými vlastnostmi chladících médií, teoretickou účinností Carnotova cyklu, omezenou kapacitou nízkopotenciálních zdrojů a v neposlední řadě přirozenou lidskou pohodlností a leností.

Hlavním způsobem, jak snížit spotřebu energií je zamezit jejím únikům, a to především ve formě tepla. Tento způsob přímo souvisí i s účinností a běžný člověk se s ním setká především ve formě zateplování domů a stále častěji i tepelné rekuperace odpadního vzduchu. Stavební normy se v minulém režimu tepelnými ztrátami příliš nezabývaly, protože zdroj energie bylo v bývalém Československu relativně dost, byly levné a snadno dostupné. Ekologické dopady, emise jedovatých a skleníkových plynů ani další následky takového počínání nebylo třeba s nikým konzultovat. V dnešní době, kdy je drtivá většina státních energetických podniků privatizována, nelze očekávat, že by podniky, jejichž hlavním posláním je uspokojit požadavky akcionářů zaměřovaly na snižování cen. Naopak ceny většiny forem energií neustále rostou. Zateplení domů a bytů se tudíž jeví jako velmi logický způsob snížení výdajů za energie.

Za pojmem revitalizace nebo rekonstrukce se ve většině případů skrývá výměna starých a již nevyhovujících oken, za okna nová s modernější konstrukcí, dále zateplení obvodového pláště a v neposlední řadě rekonstrukce střechy včetně zateplení půdních prostor. Těmito zásahy dochází k uzavření stavby a absolutní změně vnitřního mikroklimatu při opomenutí nároků na větrání a nerespektování této potřeby při rekonstrukcích. [1] Tyto operace dokáží zásadním způsobem snížit nároky na vytápění objektu, nicméně velmi negativně naruší hygienické podmínky uvnitř objektu. Nejčastějšími negativními projevy kvalitního zateplení jsou výskyt plísní, zatuchlý vzduch, rosící se okna a kondenzace par uvnitř objektu. Je jasné, že je třeba obnovit přísun čerstvého vzduchu do objektu a zajistit odvod odpadního vzduchu, neboť objekt po zateplení sice odpovídá současným normám na úniky tepla, ale neodpovídá normám na přísun čerstvého vzduchu. Protože stavební kolaudace po dokončení zateplování v praxi neprobíhá, i když by měla (mění se půdorys objektu), na nedostatky větrání nikdo neupozorní a obyvatelé zateplených objektů jsou nuceni později řešit problémy s nedostatečnou ventilací.

1.0 Normy definující požadavky na vnitřní prostředí obytných budov

V českém právním a normativním systému je celá řada norem vyhlášek a nařízení, které se zabývají vnitřním mikroklimatem obytných objektů. Nejvýznamnějšími z nich jsou tyto[1]:

- Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby
- norma ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov
- norma ČSN EN 15 251 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, teplotní prostředí, osvětlení a akustiku
- zákon 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví
- zákon 309/2006 Sb. o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci
- NV 68/2010 Sb. kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- vyhláška 343/2009 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých
- vyhláška 6/2003 Sb. stanovující hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb
- norma TPG 704 01 Odběrná plynová zařízení a spotřebiče na plynná paliva v budovách

1.1 Požadavky na výměnu vzduchu v jednotlivých prostorách obytných budov [1]

Množství a rychlost výměny je definováno ve vyhlášce 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby, která odkazuje na normu ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov, resp. její informativní část. Zde se nachází tabulka, která definuje požadavky na výměnu vzduchu pro bytové stavby opět z informativní přílohy této normy, kde kategorie II odpovídá našim zvyklostem. Tato norma je pouze informativní, nikoli závazná, nicméně její respektování téměř zaručuje prevenci nežádoucích jevů, které jsou způsobeny nedostatečnou ventilací.

Tab. 01 informativní část ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov o výměně vzduchu v obytných místnostech[1]

kategorie	výměna vzduchu		obývací pokoj a ložnice		odváděný vzduch m ³ /hod		
	m ³ /(hod.m ²)	1/hod	m ³ /(hod.os)	m ³ /(hod.m ²)	kuchyň	koupelna	WC
I	1,8	0,7	36	5	100	72	50
II	1,5	0,6	25	3,6	72	54	36
III	1,3	0,5	14	2	50	36	25

Z normy tedy plyne, že ve všech chráněných vnitřních prostorech stavby současně musí být zajištěna minimální výměna vzduchu v době pobytu osob alespoň 25 m³.hod⁻¹ na každou osobu, pro kterou je stavba dimenzována nebo výměna celého objemu vzduchu v místnosti nejméně jedenkrát za zhruba 2 hodiny. Dále musí být dodržena hodnota maximální přípustné koncentrace oxidu uhličitého 1000 ppm, která slouží jako ukazatel intenzity a kvality větrání.

Na prostory pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých se vztahuje vyhláška 343/2009 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a

vzdělávání dětí a mladistvých, která definuje výměnu vzduchu a vnitřní podmínky mnohem komplexněji, viz Tab. 02.

Tab. 02 požadavky na vnitřní prostředí podle vyhlášky číslo 343/2009 Sb. [1]

Typ prostoru	Množství vzduchu(m ³ /hod)	Optimální výsledná teplota(°C)	Relativní vlhkost vzduchu(%)
Učebny	20-30 na 1 žáka	22±2	30-65
Tělocvičny	20-90 na 1 žáka	20±2	
Šatny	20 na 1 žáka	22±2	
Umývárny	30 na 1 umyvadlo		
Sprchy	150-200 na 1 sprchu		
Záchody	50 na 1 kabinu		
	25 na 1 pisoár		

V místnostech, které jsou vybaveny plynovým zařízením je výměna vzduchu stanovena normou TPG 704 01 Odběrná plynová zařízení a spotřebiče na plynná paliva v budovách. Norma stanovuje jednotnou hodnotu 50 m³/(hod.os.). Je-li v karmu pro ohřev teplé vody instalována v koupelně, pak při dodržení informativních hodnot z normy ČSN 73 0540 pro výměnu vzduchu v koupelně je dodržena i tato norma. Naopak, je-li kuchyně vybavena plynovým sporákem, je třeba výměnu vzduchu navýšit v souladu s normou[2].

1.2 Normy definující vlhkost a teplotu v obytných budovách[1]

Vhodná volba teploty a vlhkosti interiéru budov, je základním předpokladem obyvatelnosti interiérů budov. V českých podmínkách jsou požadavky na teplotu a relativní vlhkost vzduchu definovány normou ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov, kde můžeme nalézt hodnoty návrhových parametrů vnitřního prostředí pro vybrané místnosti, přičemž hodnota návrhové teploty v zimním období je závazná a hodnota relativní vlhkosti vzduchu je pouze informativní. Na základě dané návrhové teploty uvnitř místnosti v zimním období a teploty vzduchu v zimním období, které je definováno v normě ČSN 73 0540-3 a normy ČSN 73 0540-2, kde jsou definovány doporučené součinitele prostupu tepla, se volí výsledná tloušťka obálky domu.

Tab. 03: Výběr z normy ČSN 73 0504 Tepelná ochrana budov[1]

Druh místnosti s požadovaným stavem vnitřního prostředí	Návrhová vnitřní teplota v zimním období [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]
OBYTNÉ BUDOVY TRVALE UŽÍVANÉ		
obývací místnosti	20	50
kuchyně	20	50
vytápěné vedlejší místnosti	15	50
ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY		
kanceláře, čekárny, zasedací síně, jídelny	20	50
ŠKOLNÍ BUDOVY		
učebny, kreslírny, rýsovný, kabinety, laboratoře, jídelny	20	55
tělocvičny	15	70
MATEŘSKÉ ŠKOLY		
učebny, herny, lehárny	22	50
šatny	20	50
ZDRAVOTNICKÁ ZAŘÍZENÍ		
ordinace	24	50
čekárny, chodby, WC	20	50

Dle normy ČSN EN 15 251 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, teplotní prostředí, osvětlení a akustiky jsou v tabulce uvedeny doporučené hodnoty teploty a vlhkosti vnitřního prostředí bytů z informativních příloh této normy.

Tab. 04: Výběr z normy ČSN EN 15 251[1]

Tepelný pocit	Teplota [°C]	Procento nespokojených uživatelů (PPD)[%]	Relativní vlhkost [%]
chladno	20	47	30-50
	21	31	
	22	19	
neutrálně	23	10	25-60
	24	<10	
	25	<10	
	26	10	
teplo	27	19	20-70
	28	31	
	29	47	

Pozn.: PPD 10% odpovídá optimálním tepelným podmínkám podle našich předpisů

Následky nedodržení návrhových hodnot

Vysoká vlhkost je jedním z možných faktorů pro bujný růst hub, plísní a dalších, lidskému zdraví neprospěšných mikroorganismů. Vodní koncentrát se především projevuje na okenních konstrukcích a jejich nejbližším okolí, kde se nachází největší tepelné mosty mezi vnitřním a vnějším prostředím. Dochází zde ke 100% nasycení vzduchu a následnému vysrážení, s možnou migrací kondenzátu do ostění a nezabezpečených částí okenní konstrukce.

Převážně v zimním období nastává fyzikální jev, kdy za působení vyššího parciálního tlaku vodních par ve vnitřním prostředí dochází k difúzi vlhkosti do vnějšího prostředí s nižším parciálním tlakem vodních par přes stavební materiály obvodového pláště a otvorové výplně. Při průniku nadměrného množství vlhkosti do konstrukce dřevěných oken, může docházet k růstu dřevokazných hub nebo případným defektům na povrchové úpravě. Při průniku nadměrného množství vlhkosti do obvodového pláště, zbudovaného z materiálů na bázi pórobetonu, dochází k negativnímu ovlivnění jeho tepelně izolačních vlastností důsledkem nasákavosti[3].

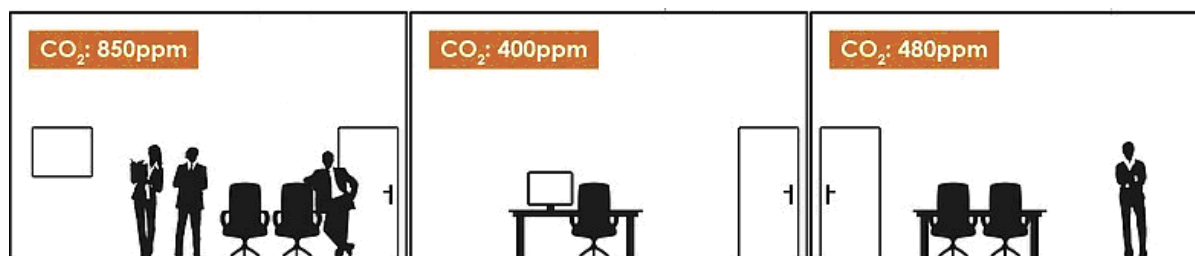
Naopak velmi nízká relativní vlhkost nepříznivě působí na sliznice dýchací soustavy člověka a může být příčinou řady respiračních onemocnění.

1.3 Koncentrace oxidu uhličitého[4]

Dalším parametrem, který ovlivňuje kvalitu života v obytných prostorech je úroveň hladiny oxidu uhličitého v interiéru. Z níže uvedené tabulky (Tab. 05) je zřejmé, že pro zabezpečení vhodného mikroklimatu je zapotřebí udržovat hladinu koncentrace oxidu uhličitého do hodnoty 1000 ppm, což by mělo být zajištěno dostatečnou výměnou vzduchu a tím i odvodu přebytečné vlhkosti a pachových složek. Je třeba přihlídnout i případné existenci plynových spotřebičů v místnosti, které zvyšují množství oxidu uhličitého a zároveň je třeba zajistit pro ně odvod spalin a přístup teplého vzduchu.

Tab. 05: Vliv koncentrace oxidu uhličitého na lidský organismus[4]

Koncentrace CO ₂	Účinky na lidský organismus
330-370 ppm	vnější prostředí
450-1000 ppm	dobrá úroveň, příjemný pocit
1000-2000 ppm	pocit ospalosti a horšího vzduchu
2000-5000 ppm	možné bolesti hlavy, nižší schopnost koncentrace, snížená pozornost
>5000 ppm	pocit těžkého vzduchu a nevolnosti, zvýšený tep
>15000 ppm	potíže s dýcháním
>30000 ppm	bolesti hlavy, závratě a nevolnost
>60000-80000 ppm	letargie a ztráta vědomí



Obr. 01: Vliv počtu osob na koncentraci CO₂[17]

1.4 Měření teploty, vlhkosti vzduchu a koncentrace CO_2

Měření koncentrace CO_2 vlhkosti a teploty je dlouhodobé kontinuální (po dobu několika dní), v jehož průběhu je měřena a zaznamenávána teplota a relativní vlhkost vnitřního vzduchu a koncentrace oxidu uhličitého v budově. Obě měření jsou často kombinována. Výsledky měření jsou vyhodnoceny dle normy ČSN 73 0540 - Tepelná ochrana budov. Zjišťuje se zda stěny, rámy oken, okna a další konstrukce splňují podmínky na tepelnou izolaci takové, aby jejich teplota neklesla pod stanovenou mez a nedocházelo na nich ke zvyšování povrchové vlhkosti. Povrchová vlhkost 80% a více představuje riziko růstu plísní, povrchová vlhkost 100% - kondenzace vody, růst plísní.

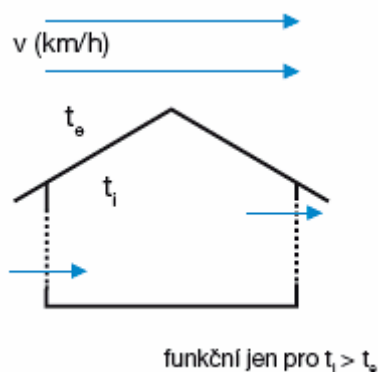
Druhým kritériem pro hodnocení (kromě kvality tepelné izolace) je množství vlhkosti ve vzduchu. Zvýšená vlhkost výrazně zvyšuje riziko růstu plísní a zároveň ukazuje na dostatečnost či nedostatečnost větrání bytu.

2.0 Jednotlivé systémy používané pro větrání[1],[5]

2.1 Přirozené větrání infiltrací

K větrání v objektu dochází následkem pronikání vzduchu různými netěsnostmi v rámech oken, zdech, dveřích a stropní konstrukci. Je-li bezvětrí, pak dochází k iniciaci infiltrace pouze v důsledku difference teploty vnějšího a vnitřního prostředí. Zvětšit intenzitu větrání je možné krátkodobým otevřením oken. Výhodami jsou bezúdržbovost a nulová cena.

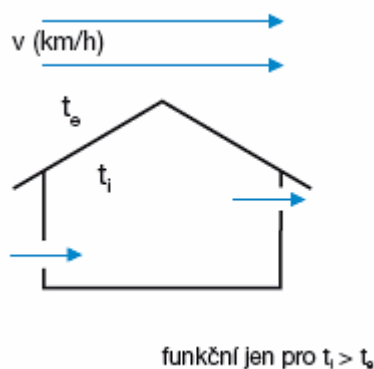
Nevýhodami je potom fakt, že v letním období je infiltrace zcela nefunkční, komfort v budově je mizivý a nelze rozhodnout, kdy je potřeba větrat, což je v případě WC a koupelny nepřijatelné.



Obr. 01: větrání infiltrací[26]

2.2 Větrání aerací

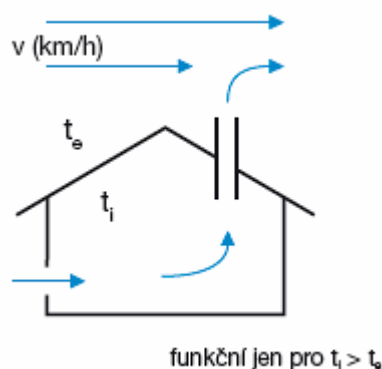
K větrání a výměně vzduchu dochází obdobným způsobem jako u infiltrace s tím rozdílem, že pro přívod a odvod vzduchu jsou vytvořeny zvláštní otvory v různých výškách v místnosti. Tím je definován a zvětšen průtočný průřez. Za bezvětrí je aerace iniciována pouze diferencí teplot uvnitř a vně objektu. Dojde-li k vyrovnání teplot, pak je aerace neúčinná. Aerace je levná, bezúdržbová a historicky používaná metoda. Záporom je fakt, že v letním období, kdy je bezvětrí a malý teplotní rozdíl vně a uvnitř budovy je nefunkční, v zimním období naopak dochází k masivnímu větrání a tepelným ztrátám. Po instalaci moderních oken je systém nefunkční, komfort je mizivý a neexistuje možnost rozhodnout, kdy se má větrat.



Obr. 02: větrání aerací[26]

2.3 Šachtové větrání

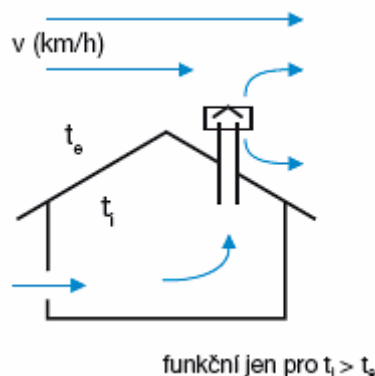
Principem šachtového větrání je opět rozdíl teplot uvnitř a vně budovy. Při šachtovém větrání jsou větrací mřížky z jednotlivých odvětrávaných místností zaústěny do jednotné větrací šachty. Tyto šachty jsou podobné komínů a světlíkům, bývají zděné nebo potrubní. Šachty se budují zvlášť pro odvod a zvlášť pro přívod vzduchu. Obvykle se však budují pouze pro odvod vzduchu a k přívodu bývají využity přírodní otvory za otopným tělesem, které zajistí ohřev čerstvého vzduchu v zimním období. Je to levná a bezúdržbová, historicky používaná metoda, přestože parametry neodpovídají soudobým komfortním a hygienickým požadavkům na větrání. Mezi zápory patří průnik hluku větracími otvory, poruchy větracího režimu větrem, při vyrovnání vnější a vnitřní teploty je větrání opět nefunkční, v letních měsících může dojít k obrácení toku vzduchu do interiéru, nelze rozhodnout, kdy se má větrat, systém je zcela závislý na povětrnostních podmínkách, po výměně oken a zateplení je systém nefunkční, v zimním období dochází ke značným tepelným ztrátám.



Obr. 03: šachtové větrání[26]

2.4 Šachtové větrání s větracími hlavicemi

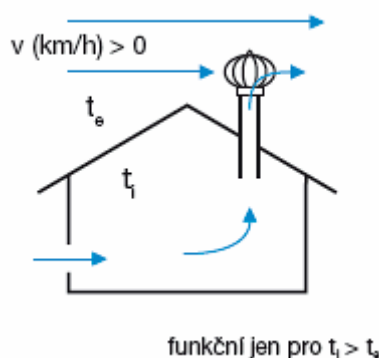
K větrání dochází v důsledku rozdílu teplot uvnitř a vně objektu. Na funkci systému má velký vliv vítr (podobně jako u komínů). Nasávací účinek šachty se zvětšuje větracími hlavicemi. Jedná se o levnou bezúdržbovou metodu, která ale není schopna splnit současné požadavky na větrání. Zápory jsou především průnik hluku z venkovního prostředí, nemožnost použít tlumiče hluku z důvodu nízkého provozního tlaku, poruchy větrání působením větru, při vyrovnání vnitřní a vnější teploty nefunkční, nelze rozhodnout o tom, kdy se má větrat. V zimním období dochází k neřízenému větrání a tepelným ztrátám.



Obr. 04: šachtové větrání s větracími hlavicemi[26]

2.5 Šachtové větrání s rotačními hlavicemi

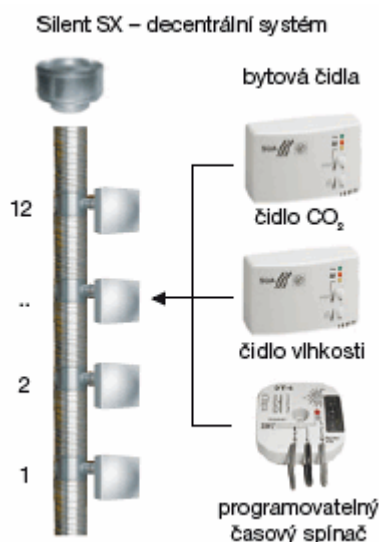
Nasávací účinek šachty se obdobně jako v předchozím případě mírně zvětšován rotačními větracími hlavicemi, tzv. „větrnými turbínami.“ rotační hlavice jsou historicky známy jako komínové hlavice a prvky ventilace dvouplášťových střech. Hlavice je tvořena "cibulovitým" radiálním kolem, s dozadu zahnutými lopatkami. Pokud právě fouká vítr, dochází ke spojení účinku podtlaku v ústí připojeného potrubí (obdobně jako u hlavic VHO) a podtlaku na sací straně rotujícího radiálního kola. Jedná se o levnou, dobře použitelnou metodu pro nenáročné aplikace. Lze využít motorizované hlavice. Zápory jsou podobné jako v předchozích případech tedy pronikání hluku z okolí a nemožnost využití tlumičů v důsledku malého provozního tlaku. Nelze rozhodnout, kdy se má větrat. V zimním období dochází k velkým tepelným ztrátám. Všechny bytové jednotky jsou větrány zároveň.



Obr. 05: šachtové větrání s rotačními hlavicemi[26]

2.6 Decentrální nucené větrání

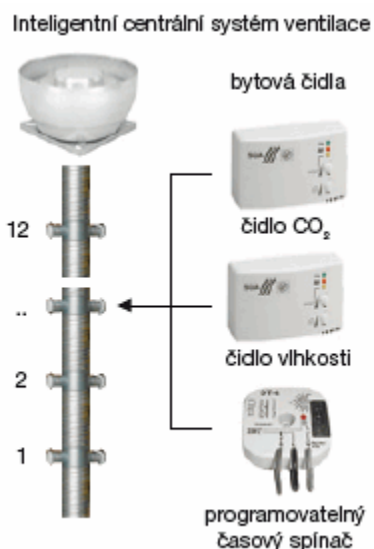
Větrání se provádí pomocí ventilátorů, které jsou osazeny v jednotlivých místnostech a jsou připojeny do stoupacího sběrného potrubí. Přívod vzduchu se zajišťuje přívodními prvky za otopnými tělesy, přívodními regulačními prvky v rámech oken, termostatickými přívodními prvky a podobně. Hlavními klady této metody jsou účinnost větrání odpovídající současným požadavkům, možnost inteligentního chování ve spojení s čidly vlhkosti, hladiny CO_2 a teploty. Možnost využití těsnících klapek mezi byty, možnost větrat jednotlivé místnosti zvlášť. Nevýhodami jsou náklady na energie nutné pro provoz, vysoká pořizovací cena a emise hluku.



Obr. 06: decentralizované nucené větrání[26]

2.7 Centrální nucené větrání

K větrání dochází pomocí centrálních ventilátorů, které jsou osazeny na konci stoupajícího sběrného potrubí, většinou na střechách budov. Přívod vzduchu se zajišťuje přívodními prvky za otopnými tělesy, přívodními regulačními prvky v rámech oken, termostatickými přívodními prvky a podobně, stejně jako u decentralního nuceného větrání. Klady ekologicky šetrná a vysoce účinná metoda. Systém je propojen s čidly na indikaci CO₂, vlhkosti a teploty a je programovatelný a předvídatelný. Nedochází k pronikání pachů mezi místnostmi, eliminuje se zdroj hluku, který bývá umístěn mimo objekty. Záporem je velmi omezená možnost rekuperace.

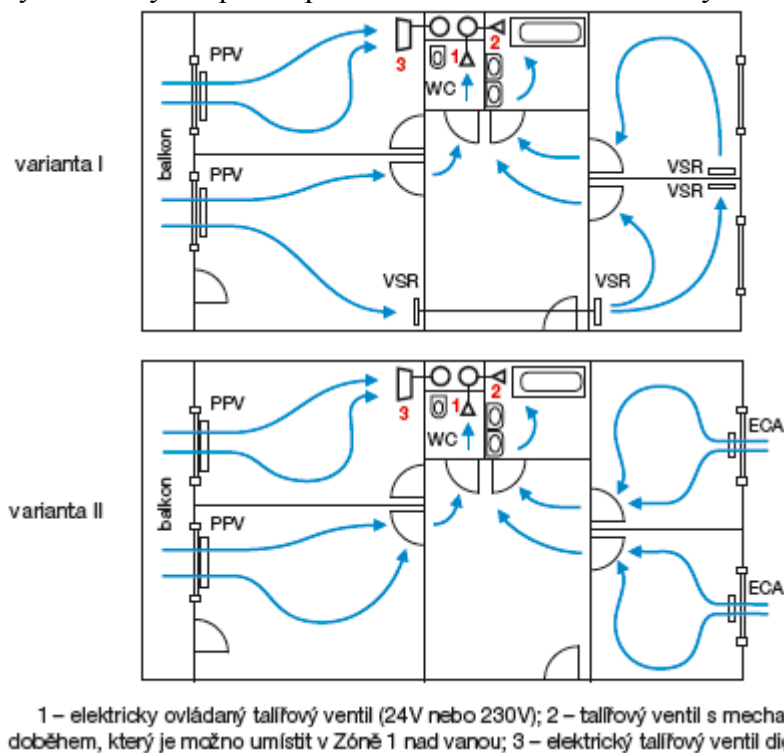


Obr. 07: centrální nucené větrání[26]

2.8 Inteligentní systém centrálního větrání MiX

Systém je založen na použití speciálních moderních prvků pro DCV systémy (demand controlled ventilation - větrání řízené skutečnou potřebou). Jedná se o ventilátory MiX, vybavené inteligentním systémem s jednodeskovým počítačem, vestavěným diferenciálním čidlem tlaku, stejnosměrným EC motorem (elektronicky komutovaným), sériovým rozhraním,

elektricky ovládanými odvodními talířovými ventily, čidly CO₂, čidly relativní vlhkosti, programovatelnými časovými spínači pro ovládání odvodních talířových ventilů.



Obr. 08: schématický náčrt větrání bytu v bytové výstavbě s použitím přírodních a průchozích prvků[27]

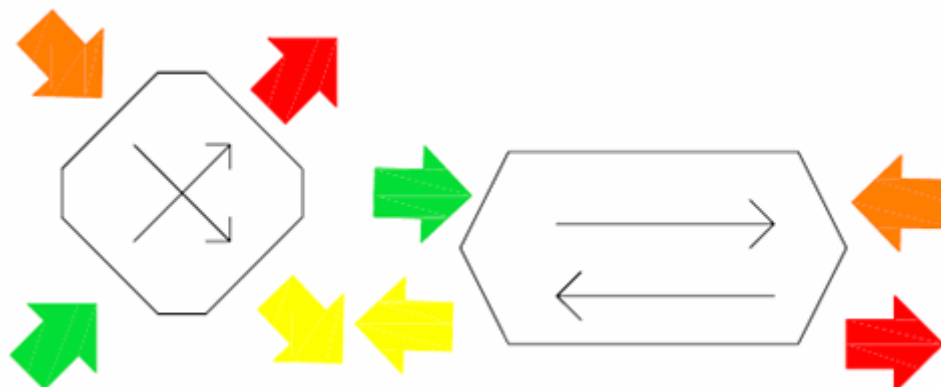
3.0 Tepelné rekuperátory

3.1 Princip rekuperace[6]

Označení tepelná rekuperace znamená zpětné získávání zbytkové neboli odpadní energie pro její další využití. Rekuperace vzduchu tedy znamená zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu pro další využití. Nejjednodušším principem rekuperace je jednoduchý výměník vzduch-vzduch, ve kterém odpadní vzduch předává teplo přívodnímu vzduchu. Tedy odpadní vzduch se ve výměníku nejprve ochladí a pak je chladnější vyfouknut z objektu, zatímco čerstvý vzduch je nasáván přes výměník, kde se ohřeje a pak je již předehřátý přiváděn do místností. I v případě, že za rekuperátorem není instalován žádný dohřev, vzduch přicházející z venkovního prostoru se ohřeje od odpadního vzduchu na teplotu velmi blízkou teplotě odpadního vzduchu. Je to dáno rozdílnou vlhkostí odpadního a venkovního vzduchu. Odpadní vzduch má v sobě více vlhkosti a při jeho ochlazení dochází ke kondenzaci a tím se uvolňuje další energie. Zatímco venkovní vzduch obsahuje méně vlhkosti a má menší kapacitu pojmout teplo, proto se ohřeje o vyšší teplotní rozdíl, než se ochlazuje odpadní vzduch. V praxi to například znamená, že nasávaný venkovní vzduch o teplotě -5 °C se od odpadního vzduchu nasávaného o teplotě 21 °C ohřeje při účinnosti výměníku a stejných průtocích vzduchu na 18 °C.

Velmi často se zaměňuje pojem rekuperace vzduchu s teplovzdušným vytápěním. Teplovzdušné vytápění je ucelený systém sloužící především k vytápění celého objektu a jeho součástí bývá rekuperace vzduchu. Existují tedy dva obecné systémy: "Teplovzdušné vytápění s rekuperací vzduchu" nebo "Ventilační systém s rekuperací vzduchu" neboli

zkráceně "ventilace s rekuperací". Hlavní rozdíly mezi těmito systémy jsou v principu funkce, složitosti instalace, v potřebném objemu vzduchu a v neposlední řadě v investičních nákladech.



Obr. 09: křížový a protiproudý výměník[6]

3.2 Využití rekuperace v rodinném domě[7]

Zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu v současné době nachází velké uplatnění v rodinných domech a bytech. Rekuperace řeší dilema mezi přívodem čerstvého vzduchu a ztrátou tepla, které se ztrácí při větrání.

Pro zajištění minimálního hygienického množství větracího vzduchu pomocí oken by bylo zapotřebí větrat asi hodinu. Při takovémto větrání se ztratí 50–75 % tepla. Řízeným větráním pomocí vzduchotechnické jednotky se zpětným ziskem tepla lze zajistit výměnu vzduchu bez významných energetických ztrát. Kvalitní rekuperační zařízení mají účinnost zpětného zisku tepla kolem 90% v celém rozsahu otáček ventilátoru. Při největších mrazech je rekuperace schopna zajistit, aby do místnosti proudil přehřátý vzduch o minimální teplotě 18 °C. V letním parnu je naopak možné pomocí rekuperace zchladit přiváděný vzduch.

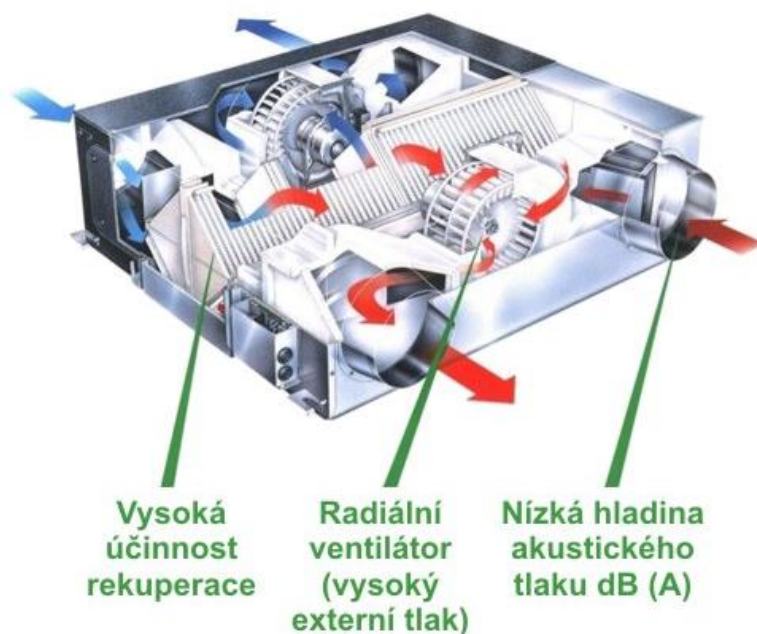
3.3 Dělení dle umístění

Rekuperační jednotky dělíme na lokální a centrální, případně na malé jednotky, které jsou vhodné do bytů nebo malých domů, a velké, které jsou vhodné pro centrální rekuperaci v domech nebo velkých objektech. [8]

3.3.1 Lokální rekuperační jednotka

Lokální jednotky obsluhují určitou část domu nebo bytu - předsíň, koupelna, záchod, pokoj a podobně. Protože lokální rekuperační jednotky jsou malé, jsou vhodné do bytů nebo do míst, kde chceme využít zpětného získávání tepla, ale nechceme provádět velké stavební práce. Tyto jednotky vypadají jako ventilátor s reverzním chodem a delším potrubím sloužícím jako výměník.

Anebo se může jednat o klasické malé rekuperační jednotky, které mají nízký výkon a účinnost, méně komfortní používání, vzhled a vyšší hluk jednotek. Vzduchový výkon lokálních rekuperačních jednotek se pohybuje v rozmezí 200 - 300m³/hod. [8]



Obr. 10: integrovaná lokální rekuperační jednotka[18]

3.3.2 Centrální rekuperační jednotky

Centrální rekuperátory obsluhují více místností nebo celý dům. Jejich funkcí je odvádět odpadní vzduch z technických místností, jako je toaleta, koupelna, chodba apod., a přivádět čerstvý vzduch do obytných místností. Tyto velké rekuperační jednotky bývají umísťovány do technických prostor nebo na půdu domu nebo na střechu. Rekuperátor pak není vidět a nehlučí v pokojích. V případě přenášení hlučnosti potrubím je možné ztlumit tlumiči hluku. Nedoporučuje se odsávání vzduchu přes digestoř, protože při "nasávání" mastných par při vaření dochází ke znečištění výměníku rekuperátoru. Tyto jednotky mají výkon kolem 400 m³/hod. [8]



Obr. 11: Integrovaná centrální rekuperační jednotka s rozvaděčem vzduchu[16]

3.4 Dělení tepelných výměníků podle konstrukce[7]

3.4.1 Přímé deskové výměníky vzduch-vzduch

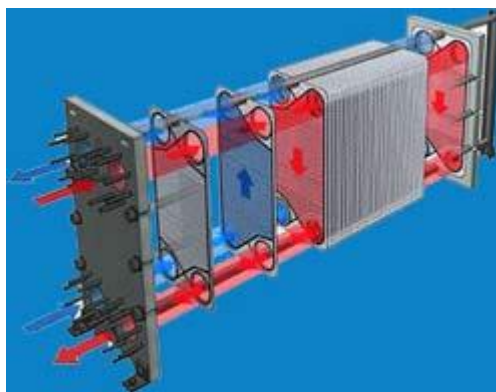
Přímé deskové výměníky vzduch-vzduch jsou takové, v nichž dochází k přímé výměně tepla mezi proudem vzduchu s vyšší teplotou a vzduchu s nižší teplotou přes teplosměnnou desku. Účinnost takovýchto zařízení se pohybuje mezi 60-70 %. Účinnost lze zvýšit žebrovaním teplosměnné desky[9].

výhody:

- malé tlakové ztráty
- vzduchové proudy jsou oddělené
- nedochází k výměně vlhkosti
- není potřeba el. čerpadel

nevýhody:

- pouze pro nižší množství tepla předaného
- malá vzdálenost sacích a výfukových otvorů



Obr. 12: přímý rozebíratelný deskový výměník[19]

3.4.2 Nepřímé výměníky kapalina-vzduch

Nepřímé výměníky kapalina-vzduch bývají zpravidla umístěny v odváděcím i přiváděcím potrubí, kde teplo akumulováno teplo v teplotně nosné kapalině. Touto procesní kapalinou bývá většinou některá ze škály nemrznoucích směsí. Účinnost nepřímých výměníků kolísá mezi 45-60 %.

výhody:

- oddělení vzduchových proudů. Vzdálenost mezi přiváděným a odváděným vzduchem je značná.
- příjem tepla lze spojit z více míst
- menší potřeba zastavěného místa

nevýhody:

- systém je vhodný pouze pro vysoké rozdíly teplot vzduchu
- vysoké tlakové ztráty s ohledem na konstrukci výměníku
- nutnost použití čerpadel pro zajištění cirkulace procesní kapaliny

3.4.3 Tepelné trubice

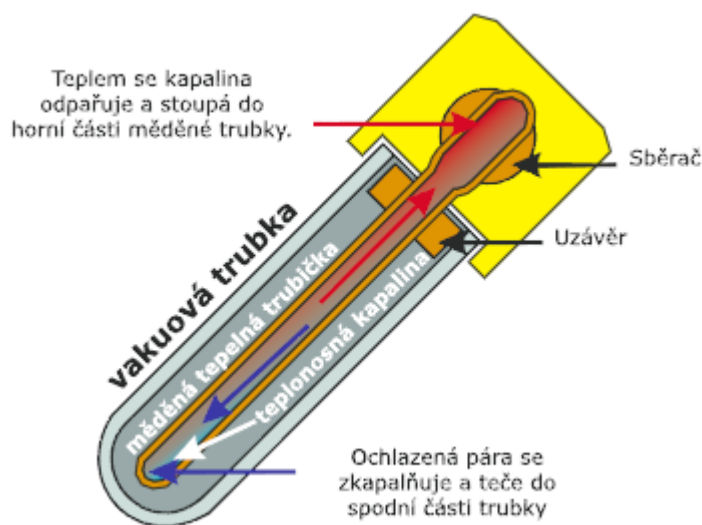
Systém tepelných trubic je založen na odpařování a následné kondenzaci kapaliny v žebrových trubiciích. Tyto trubice jsou orientovány vertikálně a oba jejich konce jsou zasazeny v přívodním resp. příváděcím vzduchovém potrubí. Ohřevem spodní části trubice odváděným teplým vzduchem vznikají páry, které stoupají vzhůru, kde předávají během kondenzace tepelnou energii studenému příváděnému vzduchu. Kondenzát stéká po stěnách trubice zpět dolů a tím se cyklus uzavírá. Tepelná trubice má tedy 3 zóny, a to spodní odpařovací, centrální transportní a horní kondenzační. Minimální délka trubice pro zajištění správné funkce je alespoň 2 m, optimální délka se pohybuje kolem 3,5 m, v závislosti na tepelném rozdílu příváděného a odváděného média. Procesní kapalinou bývá nejčastěji voda nebo alkohol. Ve speciálních trubiciích se používají různé směsi chladicích kapalin s nízkým skupenským teplem varu. Účinnost rekuperace pomocí tepelných trubic se pohybuje od 45 % do 60 %. Tento typ tepelného výměníku se běžně používá pro solární trubicové konektory, které zajišťují přehřev vody.

výhody:

- oddělené vzduchové proudy
- absence pohyblivých součástí

nevýhody:

- špatná regulovatelnost



Obr. 13: schéma tepelné trubice[20]

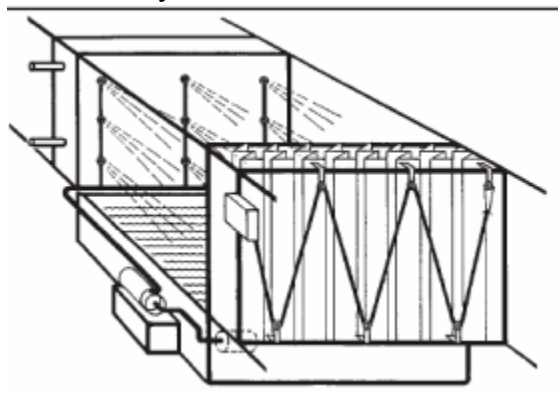
3.4.4 Kontaktní výměníky

Kontaktní tepelné výměníky jsou založeny na principu sprchování vzduchu vhodnou kapalinou, která mu odebírá teplo. Tato kapalina je transportována do chladiče, kde teplo odevzdává. Procesní kapalinou bývají roztoky solí. Celý proces se uskutečňuje ve velkých pračkách vzduchu, kde kapalina cirkuluje pomocí čerpadel. Účinnost tohoto systému je kolem 70%.

výhody:

- vyšší účinnost
- oddělení vzduchovodů

- malý odpor vzduchu.
- nevýhody:
- kontakt vzduchu s kapalinou
 - možnost přenosu škodlivin
 - použití čerpadel
 - vyšší provozní náklady

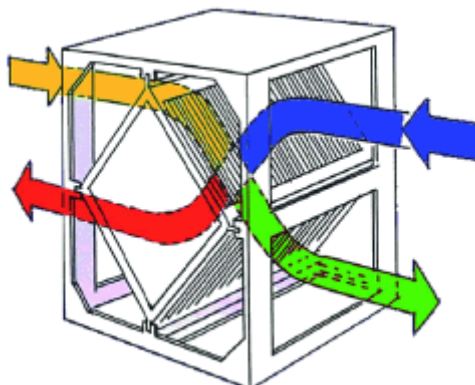


Obr. 14: pračka vzduchu [22]

3.4.5 Křížový výměník tepla[21]

Křížový výměník tepla převádí v klimatizační jednotce (AHU – Air Handling Unit) tepelnou energii z jednoho proudu vzduchu do druhého. Na rozdíl od rotačních výměníků tepla nepředává křížový výměník tepla vlhkost a neexistuje riziko zkratování proudu vzduchu. Křížový výměník tepla se používá v chladicí a větrací soustavě, která vyžaduje, aby bylo teplo převáděno z jednoho proudu do druhého. Křížový výměník tepla je zhotoven z tenkých kovových desek, obvykle hliníkových nebo z plastu. Tepelná energie se převádí pomocí teplosměnných desek. Tradiční křížový deskový výměník tepla má čtvercový průřez. Má tepelnou účinnost 40-65%. V případě, že jsou požadovány větší tepelné účinnosti – obvykle 75-85%, je možno použít protiproudý nebo dvojité křížový výměník tepla.

V některých typech výměníků se může vlhký vzduch ochladit až na bod mrazu a může se vytvářet led. Křížový výměník je zpravidla méně nákladný než jiné typy tepelných výměníků. Používá se obvykle tehdy, když hygienické normy vyžadují, aby byly oba proudy vzduchu navzájem zcela odděleny. Často se používá v instalacích pro využití odpadního tepla ve velkých kuchyních, nemocnicích a v potravinářském průmyslu. Na rozdíl od rotačních výměníků tepla křížový výměník tepla nepředává vlhkost.



Obr. 14: křížový deskový rekuperátor[22]

3.5 Dělení podle způsobu předávání tepelné energie[9]

- Rekuperační obě pracovní látky ve výměníku jsou nepropustně odděleny stěnou, která tvoří teplosměnnou plochu.
- Regenerační výměníky – obě média se v pracovním prostoru střídavě vyměňují, přičemž přenos tepelné energie se uskutečňuje pomocí akumulace energie v teplo zprostředkujícím elementu.
- Kontaktní – obě média se v pracovním prostoru promíchávají a předávají si tepelnou energii, následně jsou od sebe odděleny. Teplosměnná plocha je v tomto případě dána povrchem částic pevné fáze.
- Směšovací výměníky – výměník nemá teplosměnné plochy. Ohřívací i ohřívané médium se smíchají a vytvoří homogenní směs.

3.6 Další systémy zajišťující rekuperaci tepla

3.6.1 Regenerační výměníky[10]

3.6.1.1 Rotační regenerační výměníky

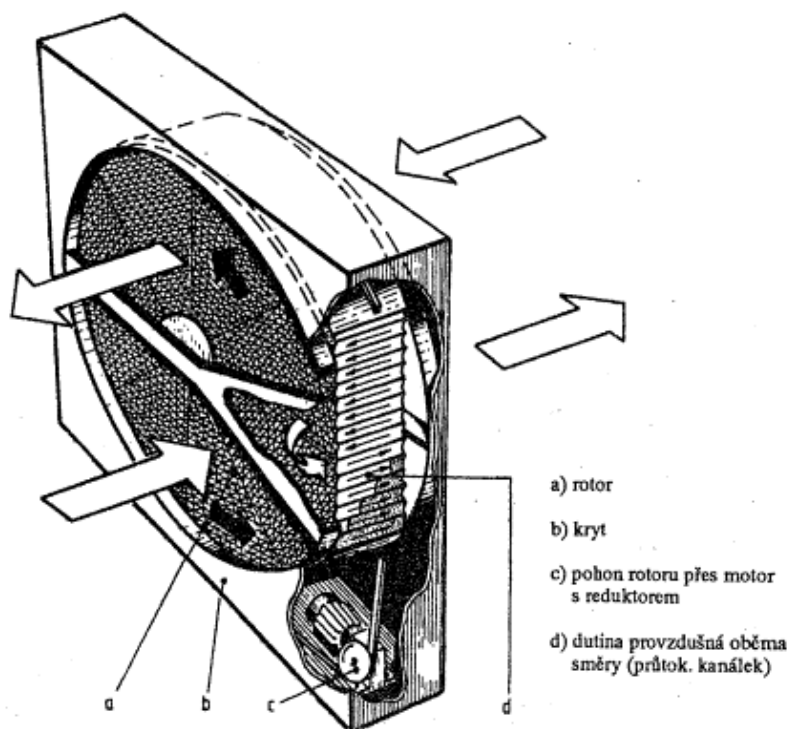
Regenerační výměníky s rotující akumulací hmotou nacházejí velmi široké uplatnění především u větších klimatizačních zařízení. Jejich hlavní výhodou je velmi vysoká účinnost, relativně malé rozměry a možnost přenosu nejen tepla citelného, ale i vlhkosti.

Rotující akumulací hmota regeneračního výměníku ve tvaru válce s drobnými kanálky rotuje mezi proudem přiváděného a odváděného vzduchu.

Rotující teplosměnná a akumulací hmota je upevněna v rámu a poháněna el. motorem. Akumulací rotor může být z řady materiálů. Často je z hliníkového plechu, používají se i plasty nebo tvrzená papírovina. Pro přenos vlhkosti se povrch teplosměnné plochy upravuje nanesením hydrofobické vrstvy. Při průchodu z odváděného do přiváděného vzduchu prochází rotor tzv. pročišťovací zónou. Zde jsou kanálky profukovány proudem čistého vzduchu, čímž se snižuje přenos nečistot z odváděného vzduchu. Pro správnou funkci pročištění a zamezení pronikání odváděného vzduchu netěsnostmi okolo rotoru, je třeba zajistit mírný přetlak přiváděného vzduchu oproti vzduchu odváděnému.

Teplotní účinnost rotačních výměníků bez hydrofobické hmoty dosahuje 60 až 80 %, vlhkostní účinnost 10 až 20 %. U rotorů s hydrofobickou vrstvou vzrůstá vlhkostní účinnost na 60 až 70 %.

Rotační výměníky je možné snadno regulovat nebo zcela vypnout změnou otáček. Aby se zabránilo nestejnomyšlnému opotřebení rotoru, zajišťuje většinou regulace občasné otočení rotoru i v době, kdy je mimo provoz. V rotačních výměnících nejsou proudy přiváděného a odváděného vzduchu bezpečně odděleny a existuje proto vysoké riziko přenosu škodlivin. Z toho důvodu nejsou rotační výměníky vhodné pro případy, kde je odváděný vzduch znečištěn pachy, zárodky, vlákna, prachem, tukem či olejem. Rotační výměníky lze použít i tehdy, je-li přípustný nízký přenos škodlivin. V takovém případě je třeba doplnit o pomocné detekční zařízení či využít speciální konstrukce.



Obr. 15: rotační regenerační výměník[24]

3.6.1.2 Přepínací regenerační výměníky

Přepínací výměníky regenerační jsou konstruovány tak, že akumulární hmota zůstává ve stejné poloze a přepínají se proudy vzduchu. Přepínací výměníky mají dvě komory naplněné akumulární hmotou a soustavu klapek, která přepíná přiváděný a odváděný vzduch tak, aby procházel přes tyto komory střídavě. Tyto výměníky dosahují vysokých účinností, ale jejich konstrukce je poměrně složitá a jejich rozměry jsou větší. Teplotní účinnost přepínacích výměníků je 60 až 90%, vlhkostní účinnost může být 50 až 70 %.

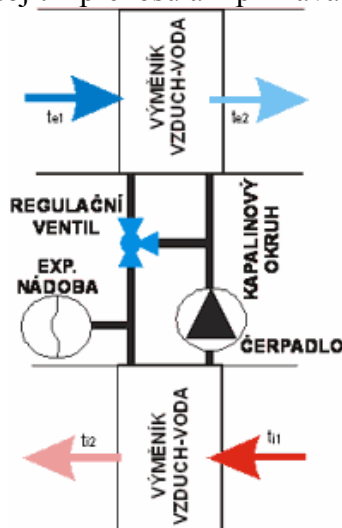
U přepínacích výměníků nelze zabránit přenosu škodlivin z odváděného vzduchu do vzduchu přiváděného, proto je lze použít pouze v případě, že odváděný vzduch není znečištěn, nebo tam, kde je nízký přenos škodlivin přípustný.

3.6.1.3 Systémy s kapalinovým okruhem

Systém s kapalinovým okruhem je tvořen jedním regeneračním výměníkem vzduch-voda v odváděném vzduchu, a druhým ve vzduchu přiváděném. Oba výměníky jsou propojeny kapalinovým okruhem s oběhovým čerpadlem, expanzní nádobou a regulačními prvky. Vzhledem k tomu, že zařízení je určeno i pro nízké teploty vzduchu, je třeba jako oběhovou kapalinu použít nemrznoucí směs. Konstrukce výměníků musí odpovídat čistotě a charakteru vzduchu, ve kterém je umístěn. Většinou se používají běžné rekuperační výměníky s lamelami. Pro silně znečištěný vzduch se mohou použít i výměníky bez žeber, či výměníky z chemicky odolných materiálů.

Obvykle se používá běžných víceřadých (dvě až čtyři řady) výměníků, počet řad výměníku zásadně ovlivňuje účinnost tohoto systému. Jako oběhová kapalina slouží nemrznoucí směs. Systémy s kapalinovým okruhem mají vysokou flexibilitu. U těchto systémů není třeba společné vedení přiváděného a odváděného vzduchu. Tyto systémy lze také snadno doplnit o

další zdroj tepla nebo ho i kombinovat s dalšími vzduchotechnickými či jinými kapalinovými systémy. Účinnost běžného systému s kapalinovým okruhem je 30 až 50 %. Jsou-li použity speciální víceřadé (deset až dvacet řad) konstrukce výměníků s protiproudými vrstvami, může být dosaženo účinnosti 70 až 80 %. Odvod kondenzátu je řešen stejně jako u běžných chladičů. Systémy ZZT s kapalinovým okruhem patří mezi nejbezpečnější systémy vzhledem k nulovému riziku přenosu škodlivin z odváděného vzduchu do vzduchu přiváděného. Lze je použít i pro provozy, kde nesmí dojít k přenosu ani při havárii zařízení.



Obr. 16: schéma systému s kapalinovým okruhem[25]

4.0 Výběr nejvhodnějšího typu rekuperační jednotky a volba jejich parametrů

4.1 Požadavky na domovní rekuperační jednotku[9]

Výměník tepla by měl splňovat několik základních parametrů, které je ale často obtížné splnit.

- co nejmenší rozměry a hmotnost
- co nejnižší cena
- co nejmenší čerpací práce
- spolehlivost provozu
- snadná údržba

Požadavky na nízkou čerpací práci a malé rozměry jsou protichůdné. Zmenšení čerpací práce má za následek zvětšení rozměrů a hmotnosti výměníku. Konečný návrh je proto vždy kompromisem mezi těmito požadavky. Požadavek na spolehlivost provozu je zcela zřejmý. Neplánované vyřazení výměníku tepla z provozu může mít za následek snížení nebo znemožnění obyvatelnosti objektu. Spolehlivost je dána především minimální poruchovostí, snadnou údržbou a opravitelností výměníku.

Požadavky na větrání obytných prostor

- splnění alespoň minimálních požadavků na větrání obytných prostor podle ČSN 73 0540 v místnostech, které zatím nemají vlastní ventilační systém
- naddimenzování s ohledem na pravděpodobné omezení infiltrace vzduchu po výměně dveří a zateplení uliční fasády
- eliminace nežádoucích akustických vlastností větracího systému

4.2 Současný stav objektu pro rekuperační jednotku

Jedná se o rodinný dům kategorie 3+1. Dům má základy z roku 1876, zhruba každých 20 let u něj proběhla rekonstrukce. Podlahová plocha obytné části je 76 m². Podlahová plocha větrané části je 60 m². Celý objekt je podsklepený. Dům je trvale obýván 4 dospělými osobami.

4.2.1 Složení stavebních materiálů

Základní stavební materiál lze jenom těžko stanovit. Sklep je cihlový klenutý, nosné zdi a sloupky jsou z kotovicových cihel, uliční stěna je pravděpodobně z pálených cihel, dvorní stěna je z materiálu YTONG Xella tloušťky 125-300 mm. V roce 2011 proběhla kompletní rekonstrukce půdních prostor, spojená s výměnou střešní konstrukce a zateplením stropů pomocí 2 vrstev minerální vaty o souhrnné tloušťce 240 mm. Stropy jsou dvouvrstvé dřevěné rozdílného stáří. Tepelné ztráty lze početně jenom velmi těžko stanovit.

4.2.2 Těsnost objektu

V roce 2005 proběhla výměna všech oken za nová plastová a velmi těsná. Dveře zůstaly původní. Dvorní stěna byla kompletně zateplena polystyrenem tloušťky 60 mm. Roku 2011 proběhlo zateplení stropů. Po níž provedených změnách se výrazně snížily tepelné ztráty objektu a spotřeba energií nutných pro vytápění. Zároveň celková pohoda uvnitř objektu výrazně klesla, a to hlavně v zimním období, kdy byl periodicky zaznamenáván zvýšený výskyt plísní a vlhkého vzduchu a zároveň byla znemožněna možnost účinné ventilace z důvodu nízkých teplot. V následujících letech pravděpodobně proběhne i výměna dveří a zateplení uliční stěny polystyrenem, proto je žádoucí to uvažovat a přiměřeně naddimenzovat kapacitu větracího systému.

4.2.3 Současná úroveň ventilace

Během rekonstrukce stropů byly do stropní tepelné izolace vloženy vertikální plastové odpadní trubky o průměru 75 mm. Všech 8 větví bylo přivedeno nad prostor chodby, kde je místo vyhrazené pro ventilační soustavu a rekuperátor. Ve stropích obytných místností a kuchyně byly vytvořeny odsávací otvory a nasávací otvory a připojeny nasávací hlavice. Při testování potrubí bylo zjištěno, že vykazuje rezonanční akustické vlastnosti, proto bude potřeba přizpůsobit tomu větrací režim.

V kuchyni bylo položeno ještě nezávislé odsávací potrubí o průměru 100 mm pro připojení digestoře v kuchyni s přímým vyústěním do venkovních prostor, které je nezbytné pro soulad s normou.

WC má již nyní z hlediska uživatele dostačující ventilační systém využívající odsávání skrze splachovací potrubí. Tento systém sice neodpovídá hygienickým standardům na ventilaci v prostoru WC, nicméně díky tomu, že odsává přímo vzduch přímo z WC mísy, je uživateli velmi pozitivně hodnocen. Díky relativně malému množství odčerpaného vzduchu a riziku možného míšení odpadního vzduchu s červím vzduchem není možnost připojení

k centrálnímu žádoucí a potřebná. Díky minimální hlučnosti zařízení, jehož jádrem je PC ventilátor, může ventilace probíhat téměř neustále bez větších nároků na energii. Ventilace vyúsťuje v půdních prostorech a je vybavena kondensátorem vlhkosti. Přívod vzduchu je řešen přísáváním z ostatních prostor. Celý systém byl vytvořen svépomocí v domácích podmínkách a funguje relativně bezporuchově již druhý rok.

Koupelna má vlastní zcela nezávislý systém větrání a primitivní rekuperace, založený na podomácku vyrobeném přímém deskovém výměníku vzduch-vzduch o teplosměnné ploše 2 m^2 , který byl vytvořen poskládáním hliníkové plechové tabule $1 \times 2\text{ m}$ do plastové trubky opatřené ventilátory. Výhoda systému je zřejmé snížení tepelných ztrát při větrání v koupelně, minimalizace výskytu plísní. Nevýhoda systému je zamrzání ventilátorů vodním kondenzátem v zimním období, ke kterému již několikrát došlo. Systém bych celkově hodnotil jako spolehlivý, je ovládán časovým spínačem, který jej aktivuje vždy na 5 min po zhasnutí v koupelně.

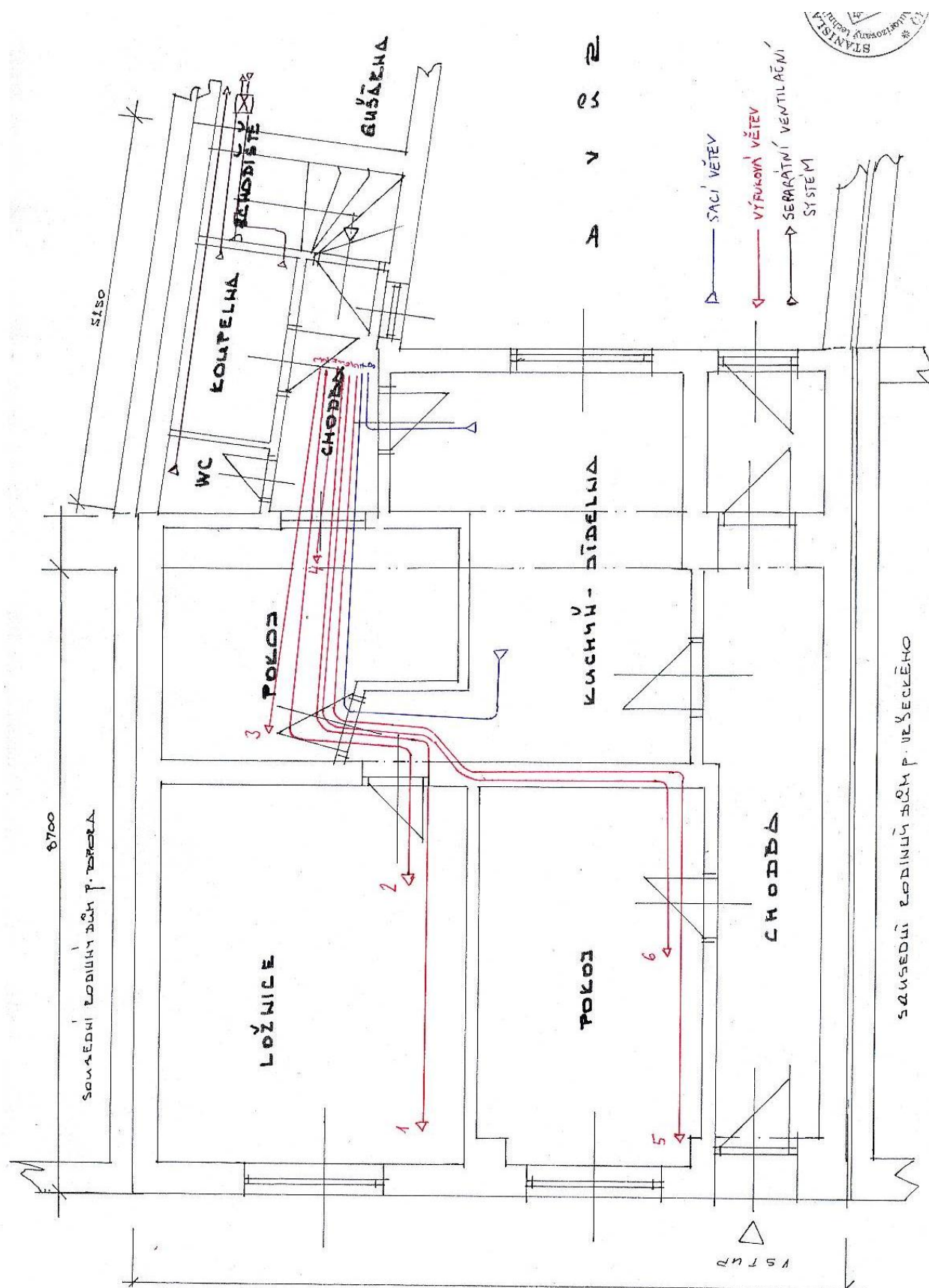
V prostoru označeném jako sušárna se nachází plynový kotel. Teplota zde není regulována, přísun dostatečného množství vzduchu pro plynové zařízení je zajištěn skrze dveřní průduch, který při kolaudaci vyhověl normě TPG 704 01 Odběrná plynová stanoviště a spotřebiče.

4.2.4 Zjištěné negativní vlastnosti větracího potrubí

Po položení větší části potrubí bylo zjištěno, že potrubí rezonuje. Další negativní vlastností bylo srážení vodního kondenzátu uvnitř potrubí v zimním období.

4.2.4.1 Možná opatření proti zjištěným negativním vlastnostem

Díky vysoké hlučnosti není možné provozovat ventilační systém neustále, protože by působil jako rušivý element. Mají-li být dodrženy ventilační limity je potřeba intenzivní a přerušované větrání, a to maximální možnou rychlostí. Zřetel je potřeba brát i na dostatečné naddimenzování s ohledem na sníženou možnost infiltrace po dokončení zateplení a výměny dveří. Bude-li zajištěno dostatečné proudění vzduchu v potrubí, problém se srážením kondenzátu se přesune blíže k rekuperátoru, v ideálním případě až do rekuperátoru, který je na kondenzaci přizpůsoben.



Obr. 17: půdorys obytné části domu s vedením ventilačního potrubí[25]

5.0 Návrh větrací jednotky

5.1 Maximální rychlost vzduchu v potrubí

S ohledem na fakt, že potrubí už nyní vykazuje vysokou rezonanci a tedy i hlučnost, není žádoucí, aby ventilace probíhala non-stop nebo v oblasti vysoce turbulentních rychlostí. Hranici mezi laminárním a turbulentním prouděním udává Reynoldsovo číslo[11]:

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

kde: w [m/s] střední rychlost proudění
 d [m] charakteristický rozměr
 ν [m²/s] kinematická viskozita

Je-li hodnota Re vyšší než kritická hodnota Re_{krit} , je proudění turbulentní. Bude-li pro kruhový průřez platit, že $Re < 2300$, proudění bude vždy laminární, je-li $Re > 3000$, bude proudění vždy turbulentní. Ve větracích zařízeních je charakter proudění převážně turbulentní. Kritická rychlost proudění pro položené potrubí $\Phi 75$ mm je dána vztahem:

$$w_{krit} = \frac{Re \cdot \nu}{d} = \frac{2300 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5}}{0,075} = 0,46 \text{ m.s}^{-1}$$

Z toho plyne, že i v našem potrubí bude proudění převážně turbulentní.

Dle zdroje[11] by rychlost v potrubí neměla přesáhnout 3 m/s u výústky pak 1,5 m/s. V případě krátkého vedení potrubí pro sání a výfuk rekuperační jednotky je nezbytné použít tlumiče hluku respektive zvukově izolované hadice. Hluk od sacích ventilátorů bývá utlumen v rekuperační jednotce.

5.2 Návrhová rychlost proudění

Jako návrhová rychlost v proudění bude využita hodnota 3 m/s. Jde o nejvyšší hodnotu z oboru doporučených hodnot a tedy nejvhodnější řešení s ohledem na omezený průměr položeného potrubí.

5.3 Výpočet tlakových ztrát

Každá z větví větracího systému má jinou délku a jiný počet kolen a prvků, které vnášejí do systému tlakové ztráty. Pro systém je podstatná pouze větev s největší tlakovou ztrátou na přívodu a na odvodu, protože všechny větve budou napojeny na jedno přírodní resp. odvodní potrubí od rekuperační jednotky a budou poháněny společným ventilátorem. Větve s nižší tlakovou ztrátou budou opatřeny kompenzačními prvky na zvýšení tlakové ztráty, a to tak aby ve všech větvích byla stejná tlaková ztráta. Údaje o tlakových ztrátách jsou shrnuty v tabulce níže. Pro výpočet bylo využito kalkulátorů tlakových ztrát[12],[13].

Tab. 06: Výpočet tlakových ztrát

číslo větve	smysl toku	délka rovných úseků [m]	počet kolen 45° [m]	počet kolen 90° [ks]	tlaková ztráta rovných úseků [Pa]	tlaková ztráta kolen 45° [Pa]	tlaková ztráta kolen 90° [Pa]	tlaková ztráta výústky [Pa]	celková tlaková ztráta [Pa]	tlak ke kompenzaci [Pa]
1	přívod	12,8	0	2	29,3	0	6	19,6	54,9	16,1
2	přívod	8,3	0	2	19,0	0	6	19,6	44,6	26,4
3	přívod	6,4	0	0	14,7	0	0	19,6	34,3	36,7
4	přívod	3,4	0	0	7,8	0	0	19,6	27,4	43,6
5	přívod	18,0	2	2	41,4	4	6	19,6	71,0	0,0
6	přívod	15,0	2	2	34,5	4	6	19,6	64,1	6,9
7	odsávání	8,3	0	2	19,0	0	54	22	95,0	0
8	odsávání	1,9	0	1	4,3	0	27	22	53,3	41,7

jednotková tlaková ztráta potrubí při 3 m/s [Pa.m ⁻¹]	2,3
jednotková tlaková ztráta potrubí při 9 m/s [Pa.m ⁻¹]	16
tlaková ztráta kolena 90° v přívodní větvi [Pa]	3
tlaková ztráta kolena 45° v přívodní větvi [Pa]	2
tlaková ztráta na výústce [Pa]	19,6
tlaková ztráta kolena 90° v odsávací větvi [Pa]	27

5.4 Kompromitace návrhových průtoků s normami

Jak je patrné z níže uvedené tabulky, není problém splnit hygienické normy na větrání při dané návrhové rychlosti proudění a průměru potrubí. Norma byla překročena ve všech větraných místnostech asi trojnásobně, kromě pokoje 2, kde v důsledku jiného normativního předpisu došlo k naddimenzování na necelý dvojnásobek. To tedy znamená, že pro splnění norem vystačí, pokud ventilace pojede jenom třetinu času při dané návrhové rychlosti proudění 3 m/s nebo pokud pojede neustále, ale při rychlosti proudění 1 m/s, což bude spojeno s nižší hlučností.

Tab. 07: stanovení množství vzduchu k výměně podle různých kritérií

				objem vzduchu dodaný nebo vyčerpaný za 1hod [m ³ .hod ⁻¹]	požadovaná výměna dle ČSN 73 0540 [m ³ /hod]	
místnost	plocha [m ²]	střední výška [m]	objem [m ³]			*časový faktor [-]
ložnice	20,5	2,5	51,3	83	25	0,3
pokoj 1	15,3	2,5	38,3	83	25	0,3
pokoj 2**	12,8	2,5	32,0	83	50	0,6
kuchyň-jídelna	23,1	2,5	57,8	249	72	0,3

*podíl dne, po který musí být ventilace v chodu, aby bylo vyhověno normě ČSN 73 0540

**místnost je ložnice pro 2 osoby, proto jsou nároky na požadovanou výměnu 50 m³/hod

5.5 Potřebná kapacita rekuperační jednotky

Pro daný byt bude zapotřebí rekuperační jednotka s kapacitou alespoň 258 m³/hod. S ohledem na rezervu by byla ideální kapacita kolem 300 m³/hod. S přihlédnutím na parametry ventilátorů by byla ideální tlaková ztráta v jednotce kolem 100 Pa. Nejvhodnějším typem je deskový rekuperátor s ohledem na jeho snadnou výrobu a tedy i nízké pořizovací náklady.

5.6 Zvolená rekuperační jednotka^[14]

Jako nejvhodnější byl zvolen teplovzdušný výměník WTR-H378 od firmy Paul. Jedná se o křížový protiproudý tepelný výměník kanálkového typu. Jeho kapacita činí 100-370 m³/hod. Tlaková ztráta je přibližně lineární v celém rozsahu průtoků a při uvažovaném průtoku dosahuje 82 Pa. Rekuperační jednotka je vyrobena z plastu a váží 0,65 kg. Tepelnou účinnost udává výrobce na 80-90 %, což se však zdá poněkud idealizované a nelze s těmito hodnotami trvale počítat. Rozměry rekuperátoru jsou velmi kompaktní kolem 40 cm. Další údaje o

teplosměnné ploše apod. výrobce neuvádí. Nevýhodou je absence vyhřívání výměníku, takže v případě velkých mrazů hrozí jeho zámraz. Cena jednotky je 245 €, což přibližně odpovídá 6100 Kč. Tato rekuperační jednotka patří k nejlevnějším na trhu.

5.7 Ventilátory^[15]

K rekuperátoru budou zapotřebí 4 ventilátory, které zabezpečí jeho chod. Tlakový spád při návrhovém provozu bude v potrubí činit kolem 100 Pa a na rekuperátoru asi 80 Pa. Byly proto zvoleny plastové potrubní ventilátory každý se statickým tlakem 95 Pa, přičemž na každém přívodu a na každém vývodu z výměníku bude umístěn jeden. Každý ventilátor má instalovaný příkon 30 W a výrobce udává průtok vzduchu 305 m³/hod při tlaku 95 Pa. Ventilátor je možno osadit do potrubí o průměru 150 mm. Pro zvýšení životnosti je ventilátor osazen kuličkovými ložisky a výrobce udává životnost 30 000 hodin, což by mělo při předpokládaném provozu vystačit na zhruba 10 let.



Obr. 18: zvolený ventilátor^[15]

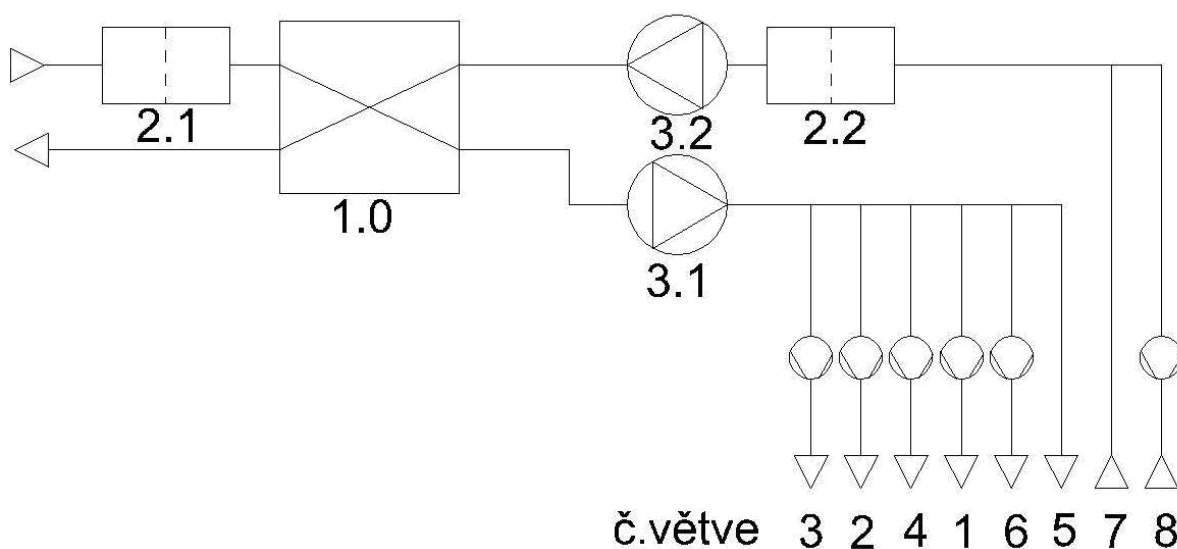
5.7.1 Regulace ventilátorů

Výkon větrání bude regulován pomocí regulátoru otáček – 300 W, na který budou připojen paralelně všechny 4 ventilátory.

5.7.2 Spotřeba elektrické energie

Celkový instalovaný příkon ventilátorů je 120 W. Budou-li v provozu asi 30 % času, jak předpokládá výpočet, bude roční spotřeba elektrické energie 315 kWh. Při ceně 4 Kč/kWh, činní náklady na roční provoz rekuperace zhruba 1300 Kč.

5.7.3 Orientační schéma



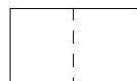
POUŽITÉ ZNAČKY



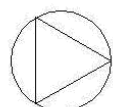
sání



výfuk



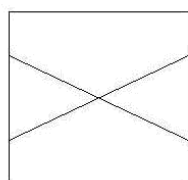
filtr



ventilátor



škrtkový element



rekuperační jednotka

Obr. 19: orientační schéma zapojení

5.7.3.1 Popis funkce

Vzduch z venku je nasáván přes filtr 2.1 do tepelného rekuperátoru 1.0, kde se ohřívá a pomocí ventilátoru 3.1 je distribuován do potrubí. Větve 1,2,3, 4, 5 a 6 jsou větve zásobovací. Na každé z nich kromě větve 5 je jeden nebo více škrtkových elementů, pro zajištění stejného

tlakového spádu ve všech větvích.

Větvemi 7 a 8 je vzduch odsáván. Na větví 8 je škrticí element pro zajištění stejného tlakového spádu jako ve větví 7. Vzduch prochází přes filtr 2.2 ventilátor 3.2 do tepelného rekuperátoru 1.0 a výfukem do venkovních prostor.

Závěr

Je nepochybné, že domovní rekuperační jednotka výrazně zvýší kulturu bydlení a celkovou pohodu uvnitř objektu. Pravidelná a účinná výměna vzduchu převážně v zimním období dokáže výrazně snížit výskyt plísní, choroboplodných zárodků a prašnost. V důsledku zateplování budov převážně difúzně uzavřenými systémy jako je polystyrénová a polyuretanová izolace trpí obvodové zdivo domu, které je nuceno absorbovat velké množství vzdušné vlhkosti, jejímž zdrojem jsou obyvatelé a plynové spotřebiče. Tato vlhkost mohla být před zateplením přirozeně difúzně odváděna ze zdiva, ale díky zateplení dochází k její akumulaci. Tepelná rekuperace řeší i tento problém, neboť vzdušná vlhkost se sráží v rekuperátoru a je odváděna pryč.

Mezi zásadní nevýhody rekuperačních jednotek patří potřeba maximálního utěsnění větraného objektu, která je vyžadována v rámci zvýšení účinnosti. Takovýto dům se pak stává na rekuperaci závislý. Další nevýhodou je, že jednotka jako taková není schopna fungovat samočinně a bez ventilátorů je její provoz téměř nemožný. Provoz ventilátorů je spojen s finančními náklady na elektřinu a provoz celého systému pak s náklady na údržbu potrubí, výměnu filtrů a značnými náklady na pořízení ventilační soustavy jako takové.

Je-li větrací systém dobře zkonstruován dokáže ušetřit kolem 85% nákladů na vytápění. K tomu je však nutno podotknout, že běžný člověk by v žádném případě nevětral v domě bez rekuperace s takovou intenzitou, jakou předepisuje norma, a tudíž je třeba k této hodnotě prezentované většinou výrobců přistupovat s rezervou. Je-li větrací systém proveden amatérsky a v objektu, který není difúzně uzavřený, lze jen těžko očekávat účinnost profesionálních provedení. V každém případě může být ale očekáváno celkové zvýšení komfortu bydlení, za cenu drobných nedokonalostí jako rezonance potrubí, ale za nesrovnatelně nižší cenu než profesionální systém.

Seznam použitých zdrojů

- [1] POLÁŠEK, Marek a Miroslav ZAPLETAL. Vztah mezi vlastnostmi oken a vnitřním klimatem. In: POLÁŠEK, Marek, Miroslav ZAPLETAL, Vojtěch BROŽA a Pavel PANÁČEK. *Otvorové výplně z hlediska udržitelné výstavby: Sborník přednášek*. Brno, 2011, s. 2.
- [2] TPG 704 01. *Odběrná plynová zařízení a spotřebiče na plynná paliva v budovách: 10.4 Spotřebiče v provedení A a B*. Praha: GAS s. r. o., 2009.
- [3] Porotherm nebo Ytong. In: Xstavba.eu [online]. [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: <http://www.xstavba.eu/porotherm-nebo-ytong/>
- [4] Doležilková, H. (2007): Rezidenční mikroprostředí. Disertační práce. ČVUT, Fakulta stavební, Katedra TZB
- [5] CIFRINEC, Ivan. Tzb-info.cz: Větrání bytových domů - Základy teorie větrání. [online]. [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/6507-vetrani-bytovych-domu-zaklady-teorie-vetrani>
- [6] KALINA, Jiří a Pavel DUFEK. Ventilace s rekuperací: Některá upozornění a doporučení. In: Tzbinfo: Stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. 18.06.2009 [cit. 2012-02-23]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5724-ventilace-s-rekuperaci-nektera-upozorneni-a-doporuceni>
- [7] Zpětné získávání tepla: Využití rekuperace v rodinném domě. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-02-23]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Zpětné_získávání_tepla
- [8] Rekuperace: Lokální a centrální rekuperační jednotky. [online]. [cit. 2012-02-23]. Dostupné z: <http://www.rekuperace-cz.cz/rekuperacni-jednotka.html>
- [9] ROZSYPAL, Štěpán. *Výměníky tepla*. Brno, 2010. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Marek Baláš.
- [10] LAIN, Miloš. Tzb-info.cz: Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci. [online]. [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3688-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-ii>
- [11] Rekuperační jednotky-obecné dotazy. Elektrodesign-ventilátory s.r.o. [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/web/faq/rekuperacni-jednotky-obecne-dotazy>
- [12] Výpočet tlakové ztráty třením v potrubí. REINBERK, Zdeněk. Tzbinfo [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/87-vypocet-tlakove-ztraty-trenim-v-potrubu>
- [13] Výpočet místních odporů pro oblouky a kolena. Qpro.cz [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: http://www.qpro.cz/?id=38_1_5_1#OdkazNaZacatekVypoctu

- [14] Výměníky(rekuperatory). PAUL WARMERRUCKGEWINNUG. *Vetranie.sk* [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.vetranie.sk/index.php?page=vymenniky>
- [15] Ventilátory-vzduchotechnika.cz. COMANDER S.R.O. *Vetranie.sk* [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.ventilatory-vzduchotechnika.cz/ventilatory/ventilatory-do-potrubi/ventilatory-do-potrubi-plastove/ventilator-do-potrubi-plastovy-150mm-kulickova-loziska>
- [16] Integrated ECO-HEAT back-pack heat recovery system by BRÜCKNER. BRUECKNER. Brueckner be first in finishing [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://brueckner.s15241847.onlinehome-server.info/index.php?id=958&L=3>
- [17] Podhledová rekuperační jednotka XS-FLAT-90-RO: Větrání na konstantní průtok vzduchu. *Stavebnictvi3000.cz* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/podhledova-rekuperacni-jednotka-xs-flat-90-ro/>
- [18] Rekuperační jednotky, rekuperátory. AP SIMCO CZ S.R.O. *Apsimco.cz* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/podhledova-rekuperacni-jednotka-xs-flat-90-ro/>
- [19] Svařované výměníky tepla. TENEZ A.S. *Tenez a.s.* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: http://www.tenez.cz/app/clanek/161/vymeniky_tepla_vsech_druhu_a_typu
- [20] Tepelné trubice-Heatpipe. TENEZ A.S. *Agenia.cz* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.agenia.cz/trubice.html>
- [21] Křížový výměník tepla. *Thinking Building Universe* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: http://cbs.grundfos.com/GCZ_Czech_Republic/lexica/AC_Cross_flow_heat_exchanger.html#
- [22] Zpětné získávání tepla a větrání objektů. *TZB info* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/rekuperace-tepla/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>
- [23] Správné umístění čidel v technologiích. *TZB info* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/rekuperace-tepla/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>
- [24] Větrání. ČVUT. *Http://www.fsid.cvut.cz* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.fsid.cvut.cz/~drkalfra/3.htm>
- [25] STANISLAV JUNK. *Projekt renovace podkrovních prostor na č.p. 117*. Sokolnice, 2011.
- [26] Rekonstrukce větracích systémů bytových domů. *TZB info* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5969-rekonstrukce-vetracich-systemu-bytovych-domu>
- [27] Systémy a rekonstrukce větrání bytových domů 2. *ASB* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/vetrani-a-klimatizace/systemy-a-rekonstrukce-vetrani-bytovych-domu-2-2111.html>